

二酸化炭素の循環と温暖化について



所 属：岡山大学環境学研究科
 発表者： 岩 田 徹

1. はじめに

地球温暖化の主要因とされている人為的に多量に排出された CO₂ が、自然界でどのように循環しているか、という問題は解明されていない部分がまだまだ多い。現在までの科学的見地によれば、およそ半分が大気中に残留し、3 割が地球上の全海洋によって、1 割が北方林を中心とする陸上生態系に吸収されると推定されているが、残りの 1 割の行方は未解明のままである。これらの問題の解明にはこれまで数十年に渡って世界各地で行なわれてきた観測実験から得られたデータに基づく解析から最大公約数的に求められた結果である。しかしながら、その量的評価の数値についてはいまだ不確定な部分が多く、現在そして今後も同様の研究が世界中で進められる必要がある。そこで本発表では、現在筆者が取り組んでいる二酸化炭素交換に関する地球観測研究について、その背景と内容を紹介したい。

2. 二酸化炭素のゆくえ

人為的な CO₂ の行方がどのようにになっているか、ということ議論する時には、IPCC 報告書が利用されることが一般的である。図 1 は 2001 年に公表された IPCC 報告書の中で CO₂ の放出量とそのゆくえを 1980 年代について 4 つの報告書、1990 年代について 2 つの報告書による結果をまとめられたものである。これによれば 1980 年代の 10 年間の放出量、残留量、陸地および海洋への吸収量については 4 つの報告書間での差異はほとんど無いものの、1990 年代の 2 つの報告書（図中左端 2 つの列）を比較すると、放出量、大気残留量はほぼ同じであるものの、海洋および陸地への吸収量にかなりの違いがあることがわかる。また、そのばらつき（標準偏差）についても、依然として大きく不確定性が大きいことを意味している。

Table 3.3: Comparison of the global CO₂ budgets from Table 3.1 with previous IPCC estimates^{a,b,c} (units are PgC/yr).

	1980s				1990s	1989 to 1998
	This chapter	SRLULUCF ^d	SAR ^e	SRRE ^f	This chapter	SRLULUCF ^d
Atmospheric increase	3.3 ± 0.1	3.3 ± 0.1	3.3 ± 0.1	3.2 ± 0.1	3.2 ± 0.1	3.3 ± 0.1
Emissions (fossil fuel, cement)	5.4 ± 0.3	5.5 ± 0.3	5.5 ± 0.3	5.5 ± 0.3	6.4 ± 0.4	6.3 ± 0.4
Ocean-atmosphere flux	-1.9 ± 0.6	-2.0 ± 0.5 ^g	-2.0 ± 0.5	-2.0 ± 0.5	-1.7 ± 0.5	-2.3 ± 0.5 ^h
Land-atmosphere flux*	-0.2 ± 0.7 ^f	-0.2 ± 0.6	-0.2 ± 0.6	-0.3 ± 0.6	-1.4 ± 0.7	-0.7 ± 0.6
*partitioned as follows						
Land-use change	1.7 (0.6 to 2.5) ^f	1.7 ± 0.8	1.6 ± 1.0	1.6 ± 1.0	insufficient data	1.6 ± 0.8 ^h
Residual terrestrial sink	-1.9 (-3.8 to 0.3)	-1.9 ± 1.3	-1.8 ± 1.6 ^h	-1.9 ± 1.6		-2.3 ± 1.3

図 1 IPCC による二酸化炭素の行方の評価比較 (IPCC,2001 より転載)

3. 大気・植生間の二酸化炭素交換

大気・植生間の CO₂ 交換量の定量的評価のために、世界各地においてフラックス観測というものがネットワーク的に実施されており、そこから得られた結果が各地域ごとに集積されデータベースとして蓄積されてきている。アジア地域においても、日本を中心として、中国、韓国、東南アジアの森林、草地、農地を中心にして運営されている（アジアフラックスネットワーク；図2）。筆者もこのネットワークの一員として、1999 年以降、西日本の水稲圃場での観測の運営管理および解析を担当している。

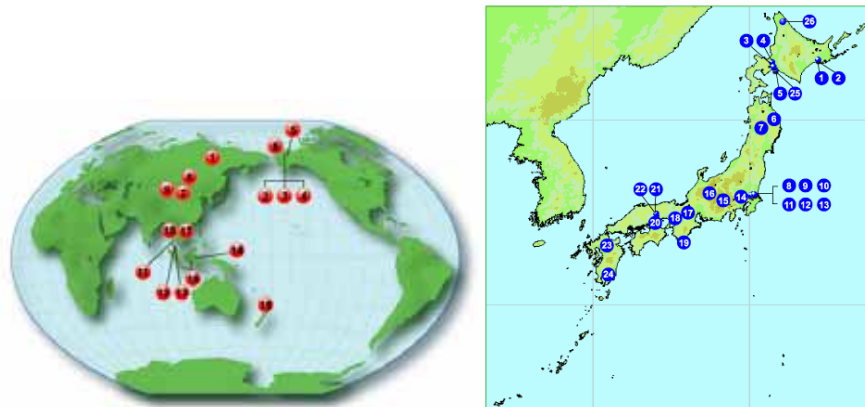


図2 アジアフラックスネットワークと国内の観測サイト分布

図3に岡山大学農学部附属八浜農場における観測風景を図4に最近3年間の結果を示す。耕作期間中である6月～10月の5ヶ月間に水稲の成長とともに大気中のCO₂がバイオマスとして取り込まれている様子がみてとれる。その固定量は0.6 kgC/m²に相当する。また、刈入れ後の11月～5月までの非耕作期間には、CO₂の放出がみられ、その放出量は、0.4 kgC/m²になっている。これは、土壌内部に根として蓄えられた有機物が分解して放出されるものであり、とくに地温が上昇する3～5月に放出量が多くなる傾向がある。



図3 岡山大学八浜農場（サイトコード HCH）におけるフラックス観測風景

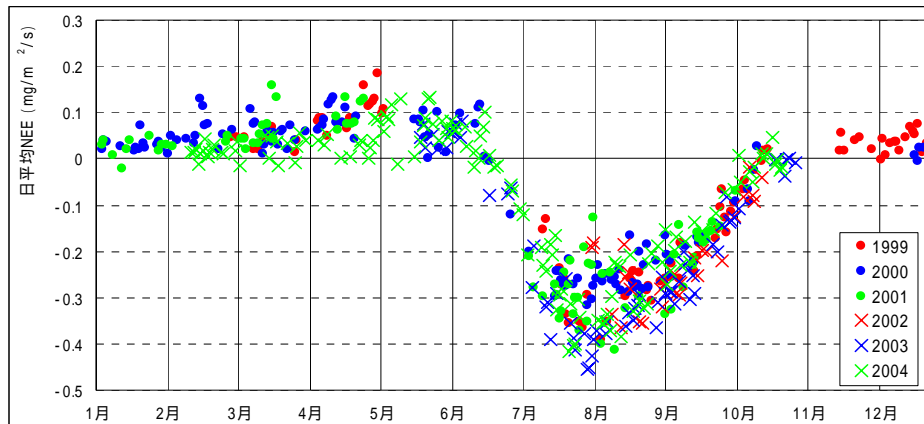


図4 八浜農場でえられた CO2 フラックスの年変化

これらの観測サイトで用いられている手法は渦相関法といわれる手法であり，高周波応答が可能な超音波風速温度計と赤外線型ガス分析計を用いて行なわれる．人間が定期管理している水田などの耕作地や生長するバイオマス量が比較的小さい草地などでは，バイオマスに固定された現実の炭素量と渦相関法による観測値が一致しているかどうかを確認するために，これら2者の評価量を比較する手法が取られる．この結果によれば，およそ10%程度の誤差で渦相関法のような直接的ではない手法による炭素固定量測定方法の妥当性が確認されたことになる．

4．大気・海洋間の二酸化炭素交換

大気・海洋間の CO2 交換量は一般に，大気・海洋間の CO2 の濃度差（正確には平衡分圧差；pCO2 と呼ばれる）に，交換係数 k_c を乗じて求められてきた．

$$F_c = E \cdot (p\text{CO}_{2\text{sea}} - p\text{CO}_{2\text{air}}) = k_c \cdot S \cdot p\text{CO}_2$$

海面 pCO2 はこれまで数多くの海洋研究船による実測値と衛星観測による補完値によって全海洋の値が見積られ，交換係数も同様に実測と衛星データから得られた風速，海面温度等から算出される．この方法はバルク式と呼ばれる．図5は IPCC 報告書の CO2 全海洋収支の元となった pCO2 と収支の分布図であるが，このような結果を得るためには，分析に多大な労力と費用が必要な海洋観測を広範囲に連続的かつ継続的に行なう必要があり大変面倒である．しかも，得られる結果

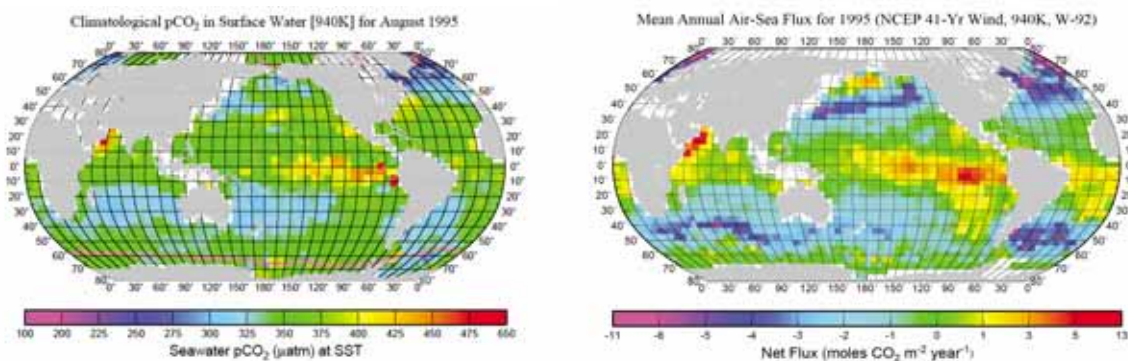


図5 全海洋における pCO2(海水中二酸化炭素濃度平衡分圧)濃度と CO2 収支量の分布 (Takahashi,2002 より転載)

は数ヵ月～10年スパンの長い時間が経過した後の結果のみに過ぎず、実際に大気中のCO₂がどのような、生物的、化学的、物理的メカニズムで海洋に取り込まれるかは未解明のままとなっている。不明なメカニズムを解明する為には、現在のバルク式では不十分であり、より短い時間スパンで交換量を測定できる手法が必要となってくる。そこで現在、注目されているのが、陸上で採用されている微気象学的手法（渦相関法もこれに含む）である。現在、筆者は、この手法の海洋観測への適用可能性を探るために、海洋地球研究船「みらい」や日本海に設置された大型の実験栈橋(京都大学防災研究所附属大湊波浪観測所観測栈橋)を利用した実験を行なっている。

図6にみらいでの観測測器の設置状況、図7に2005年度の初期結果を示す。2005年の観測においては、渦相関法に加えて微気象学的手法のもうひとつの方法である大気下層のCO₂濃度勾配を測定する実験も併用して行なった。その結果、赤道インド洋において、pCO₂が大気中よりも15ppm高い領域において、大気下層に理想的かつ比較的大きな濃度勾配が存在することが確認された。このことは、大気・海洋間において従来考えられていたよりも短い時間で大きいCO₂交換が行なわれる可能性があることと、微気象学的手法を用いてこのCO₂交換量を評価することが十分に可能であることを示唆している。

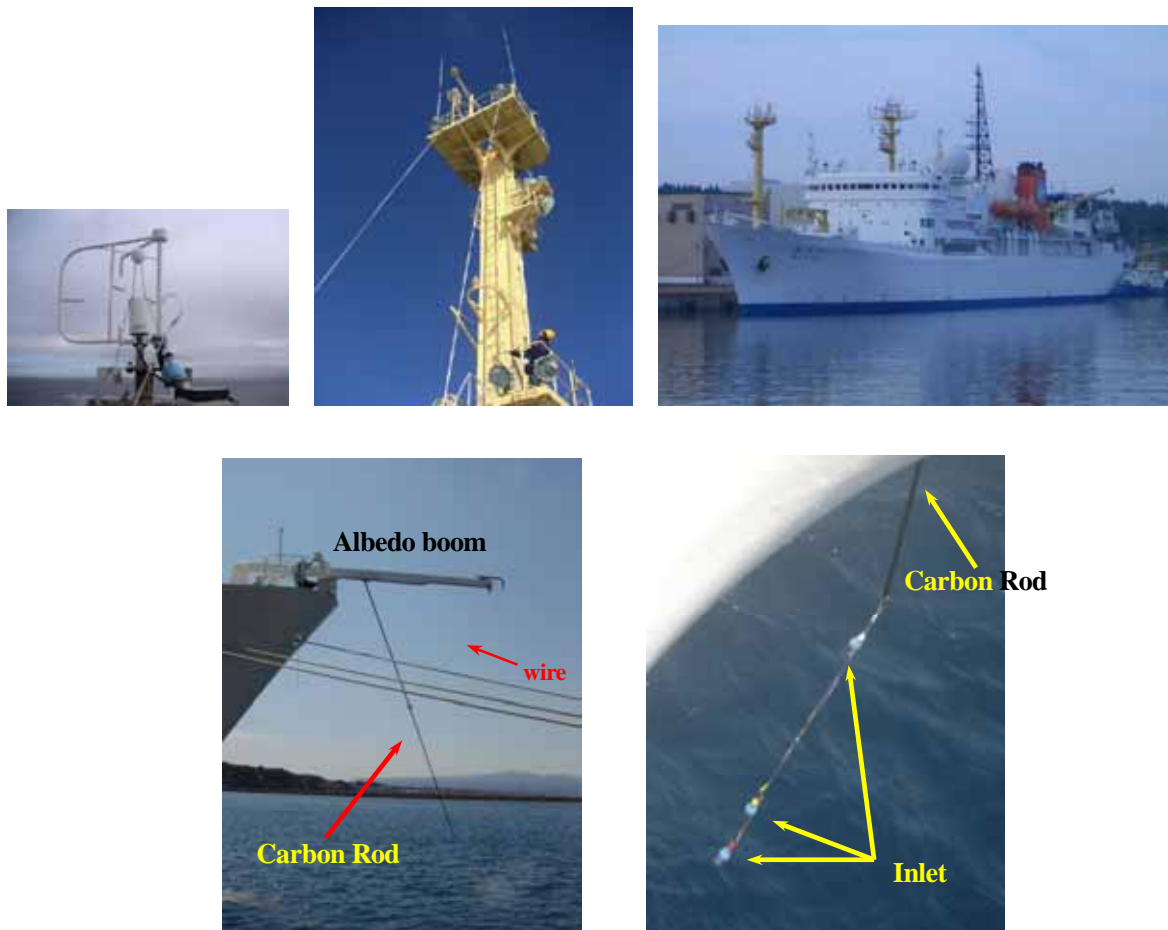


図6 海洋地球観測船「みらい」における観測測器の設置状況

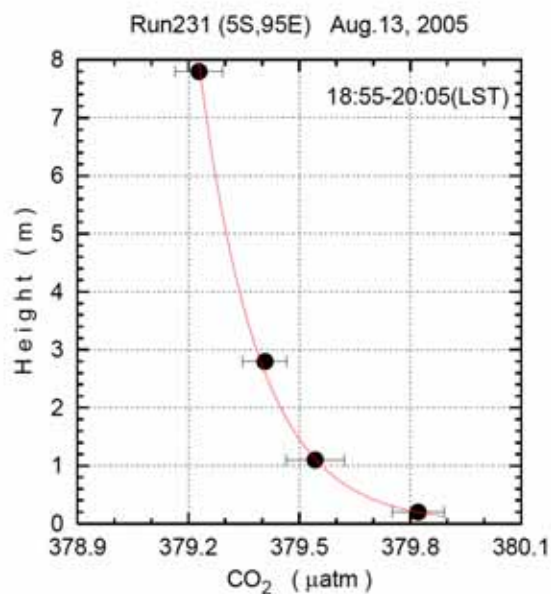


図7 5S, 95Eにおける海面付近のCO₂濃度プロファイル

5. まとめと今後

筆者が取り組んでいる二酸化炭素交換に関する地球観測研究についての背景と内容を紹介した。CO₂固定量を測定するために陸上で標準的な手法である渦相関法やプロファイル法を、海洋におけるCO₂交換にも適用すべく、研究を継続中である。陸上と海上において統一的手法でCO₂交換量が測定できることを期待したい。また、現在、海洋関連の学会では、下層大気と海洋表面の相互作用を全世界的に解明しようというプロジェクトが立ち上がっており（SOLASプロジェクト）、渦相関法を中心とした微気象学的手法を標準的な手法として取り入れる機運が高まっている。アジアで随一の海洋研究国家である日本の役割は小さくない。